

AKE-PANELS

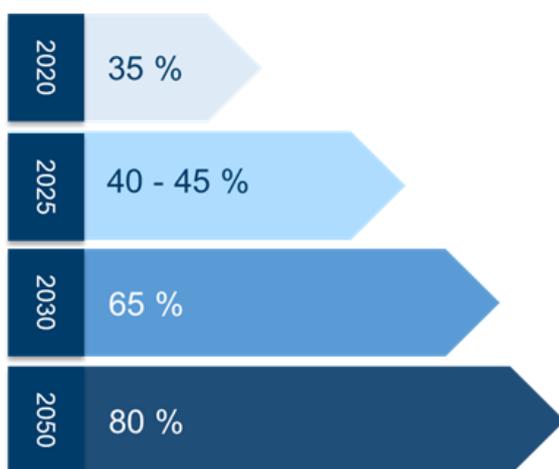
Ergebnisse Panel „Substitution“ || Leitung: Simone Neumann

Die Substitution im Energiebereich bedeutet einen Wechsel in den Bereichen Strom, Wärme und Mobilität zu anderen Einsatzstoffen und / oder Verfahren. Ebenso kann Substitution einen Wechsel in der Prozesstechnik anstreben. Ziel ist dabei ein effizientes sowie umwelt- und klimafreundliches Gesamtsystem.

Der Primärenergieverbrauch (PEV) in Deutschland betrug im Jahr 2019 insgesamt 12.832 Petajoule (PJ) mit einem Anteil von 14,8 % (1.896 PJ) erneuerbarer Energien. Die größten Anteile am Primärenergieverbrauchsmix halten Mineralöl mit 35,3 % (4.530 PJ) und Erdgas mit 24,9 % (3.191 PJ). Der Anteil der Braun- (9,1 % | 1.167 PJ) und Steinkohle (8,8 % | 1.134 PJ) nahm im Vergleich zum Vorjahr ab. Die Kernkraft hält einen Anteil von 6,4 % (820 PJ) und nahm ebenfalls leicht ab.ⁱ In Bayern belief sich der PEV im Jahr 2019 auf rund 1.904 PJ mit einem Anteil der erneuerbaren Energien von rund 20,1 % (384 PJ). Großen Anteil haben auch in Bayern die Energieträger Mineralöl (38,8 % | 739 PJ) und Erdgas (21,6 % | 412 PJ). Während die Braun- (0,6 % | 11 PJ) und Steinkohle (1,9 % | 36 PJ) einen verhältnismäßig kleinen Anteil im Vergleich mit den deutschlandweiten Zahlen aufweisen, ist die Kernkraft mit 12,8 % (245 PJ) in Bayern stärker vertreten.ⁱⁱ

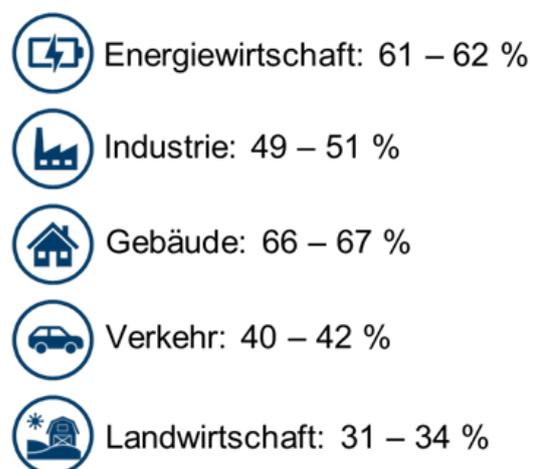
Die Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt bis zum Jahr 2025 den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf 40 bis 45 % zu steigern. Im Jahr 2030 soll dieser auf 65 % und im Jahr 2050 auf mindestens 80 % gesteigert werden.ⁱⁱⁱ Mit der europäischen Erneuerbare-Energien-Richtlinie (kurz RED II) wurde zudem das Ziel festgelegt, dass der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehr im Jahr 2030 nominal auf 14 % steigen soll^{iv}.

Anteil erneuerbare Energien am Bruttostromverbrauch



Eigene Darstellung (Quellverweis in Endnote)

Treibhausgasreduktion der einzelnen Sektoren bis 2030



¹ Anmerkung: Vgl. Tabelle 1 und 2 im Anhang.

Verbunden mit der Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien sind die Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen². Mit dem Pariser Abkommen haben sich nahezu alle Staaten der Welt dazu verpflichtet, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C und möglichst auf 1,5 °C zu begrenzen sowie in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts weltweite Treibhausgasneutralität zu erreichen^v.

Das Ziel der Bundesregierung ist die Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2050 zu erreichen. Dazu wurden verschiedene Sektorenziele³ für das Jahr 2030 beschlossen. Die Energiewirtschaft wird dadurch verpflichtet, eine Reduktion von 61 – 62 % zu erreichen. Weitere Sektorenziele sind die Treibhausgasreduktion in den Bereichen Industrie (49 – 51 %), Gebäude (66 – 67 %), Verkehr (40 – 42 %) und Landwirtschaft (31 – 34 %)^{vi}.

Die CSU hat sich im Rahmen ihrer Klimastrategie „Klima schützen, Konjunktur stützen“ nochmals deutlich zu den nationalen, europäischen und internationalen Zielen zur Reduktion der Treibhausgase bekannt und das zusätzliche Ziel erklärt, dass Bayern bereits in den 40er Jahren klimaneutral werden soll^{vii}.

Zur Erreichung dieser Ziele bedarf es einer vollständigen Substitution von fossilen Energieträgern in allen Sektoren sowie massive Einsparungen von Energie, z.B. durch Reduzierung des Verbrauchs oder einen Wechsel hin zu effizienteren innovativen Technologien.⁴

Grundsätzliche Leitlinien

Mit der Formulierung von grundsätzlichen Leitlinien werden Annahmen für die Substitution im Energiesystem aufgestellt, welche der weiteren Betrachtung von möglichen Technologiepotenzialen und alternativen Einsatzstoffen vorangestellt werden.

- Der **Ausbau erneuerbarer Energien** ist die Grundvoraussetzung für die Dekarbonisierung des Energiesystems (Strom, Wärme und Mobilität⁵).
- Bis zur vollständigen Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern, bleibt **Erdgas bis 2050 eine mögliche Brückentechnologie**, die parallel zum Ausbau der regenerativen Stromquellen die CO₂-intensiven Energieträger Kohle und Mineralöl möglichst schnell ersetzen soll.

² Anmerkung: Kontextbasiert wird v.a. der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid (CO₂) adressiert, wobei grundsätzlich die Emissionen von Methan (CH₄), Lachgas-Distickstoffoxid (N₂O) und F-Gasen im Zusammenhang mit der Reduktion von Treibhausgasen stets mitbetrachtet werden müssen.

³ Anmerkung: Ausgehend vom Referenzjahr 1990.

⁴ Anmerkung: Der AKE hat sich deswegen dazu entschieden in den Panels „Energieeinsparungen“, „Substitution“, „Innovationen“ und „Energiepolitische Maßnahmen“ einen Debattenbeitrag zu erarbeiten und neue Impulse für die innerparteiliche Arbeit zu leisten.

⁵ Anmerkung: Weiteres Substitutionspotenzial, das thematisch nicht zentral im AKE behandelt wird, sehen die Mitglieder des Panels u.a. in der Landwirtschaft und auch in der Bauwirtschaft (z.B. verstärkte Nutzung von Holz). Vgl. dazu Panel „Innovationen“.

- Die **Versorgungssicherheit**⁶ muss auf dem gleichen Niveau sichergestellt werden.
- Eine zielgerichtete europaweite (möglichst weltweite) **CO₂-Bepreisung** über alle Sektoren ist essenziell für die **Schaffung fairer Wettbewerbsbedingungen**.
- Deutschland braucht **europaweite und internationale Kooperationen** - darf sich aber nicht, wie bei der fossilen Energienutzung, von einzelnen Staaten oder Regionen abhängig machen (Erreichung einer möglichst breiten Diversifikation).
- Megatrends wie **Digitalisierung, Automatisierung** und **Globalisierung** werden die Entwicklung von Technologien beeinflussen und neue Standards setzen.
- **Forschung und Entwicklung** muss technologieoffen / zielgerichtet gefördert sowie der Einsatz von Pilotprojekten und Reallaboren ermöglicht werden.
- Die Substitution von Energieträgern und Verfahren sollte dort begonnen werden, wo sie **nachhaltig, am effizientesten** und **kostengünstigsten** ist und den **größten Beitrag zum Klimaschutz** leistet.
- Die **Verfügbarkeit Ressourcen** und die notwendige **Versorgungsinfrastruktur** (u.a. Energieübertragungs- und Verteilnetze, Trailer-Transporte) sowie eine bedarfsgerechte **Lade- und Tankinfrastruktur** müssen sichergestellt werden.
- Das Energiesystem der Zukunft wird einen tiefgreifenden Strukturwandel in Deutschland mit sich bringen. Dessen Auswirkungen auf den Produktionsstandort und damit einhergehend auf Beschäftigung und Wertschöpfung, müssen durch eine Stärkung der **Innovationsfähigkeit** und die **Schaffung neuer Industrie- und Beschäftigungszweige** kompensiert werden. Eine soziale Abfederung und die Schaffung von Perspektiven für Beschäftigte muss frühzeitig geregelt werden. Im Vordergrund muss dabei die Investition in zukunftsfähige industrielle Strukturen stehen und nicht ein künstlicher Erhalt veralteter Strukturen und Betriebe durch staatliche Subventionen.
- Für die Energiewende in Deutschland bedarf es eines „**Masterplans**“ mit einem ganzheitlichen integrierten Ansatz und iterativen Steuerungsmöglichkeiten.

Kriterien für Technologiepotentiale und alternative Einsatzstoffe

Zur Bewertung möglicher Technologiepotentiale und alternativer Einsatzstoffe sind verschiedene Faktoren zu beachten. Die **Verfügbarkeit von Ressourcen**, wie benötigte Rohstoffe für neue Technologien, aber auch mögliche Energieträger (bzw. Energiequellen) und im Zusammenhang damit **Flächen- und Nutzungspotentiale** stellen eine Grundvoraussetzung dar. Ebenso müssen **Versorgungs- und Verteilungsstrukturen** optimiert, ausgebaut oder neu geschaffen sowie im Mobilitätsbereich bedarfsgerechte und flächendeckende **Lade- und Tankinfrastrukturen** bereitgestellt werden. Vor dem

⁶ Anmerkung: Beispiel Strom - es wird ein (europaweiter) sinnvoller SAIDI (System Average Interruption Duration Index) vorgeschlagen.

Hintergrund von Effizienzsteigerungen bekannter und dem Einsatz neuer innovativer Technologien⁷ müssen zudem Strategien in regelmäßigen Abständen neu bewertet werden.

Zur Etablierung von Marktstrukturen ist die **Betrachtung der Wirtschaftlichkeit** verschiedener Technologien und Einsatzstoffe erforderlich. Im Zusammenhang knapper Ressourcen gilt es deswegen möglichst nachhaltig effiziente Lösungen in einem fairen Wettbewerb zu forcieren.

Der Erfolg der Substitution von fossilen Energien und damit einhergehend eine erfolgreiche Energiewende ist aber nur zu schaffen, wenn auch die **gesellschaftliche Akzeptanz** gegeben ist. Um diese zu erreichen, braucht es transparente und partizipative Prozesse sowie faktenbasierte und verständliche Informationsangebote.

Substitution fossiler durch erneuerbare Energien

Mit den Beschlüssen der Bundesregierung zum Ausstieg aus der Kernkraft werden bis Ende des Jahres 2022 die letzten Atomkraftwerke in Deutschland abgeschaltet. Ebenso ist der schrittweise Kohleausstieg bis Ende des Jahres 2038 beschlossen. Bei dem zu erwartenden steigenden Strombedarf in der Zukunft⁸ und der begrenzten Flächenverfügbarkeit, wird davon ausgegangen, dass Deutschland und vor allem auch Bayern verstärkt auf Energieimporte angewiesen sein werden. Zur Erhaltung regionaler Wertschöpfungsketten einschließlich der damit verbundenen Arbeitsplätze, sowie zur Reduzierung der Abhängigkeit von anderen Staaten und Regionen, sollten die verfügbaren Möglichkeiten zur nachhaltigen Energiegewinnung in Bayern, Deutschland und Europa aber möglichst ausgeschöpft werden.

Das Energiesystem der Zukunft wird von erneuerbaren Energien getragen und fossile Energien werden schrittweise substituiert. Der verstärkte Ausbau von erneuerbaren Energien wird die zentrale Aufgabe der nächsten Jahre sein. Dazu müssen regulative Barrieren zeitnah abgebaut, Genehmigungsverfahren beschleunigt und faire Marktbedingungen geschaffen werden⁹.

Im Rahmen der Sektorkopplung kann Strom aus erneuerbaren Energien direkt in anderen Bereichen, wie Wärme und Mobilität, eingesetzt werden und bildet zudem die Grundlage für weitere Prozesse und Umwandlungen wie beispielsweise die Herstellung von grünem Wasserstoff oder strombasierten Kraft-, Brenn- und Grundstoffen.

⁷ Anmerkung: Vgl. Panel „Innovationen“.

⁸ Anmerkung: Trotz notwendiger Energieeinsparungen und Effizienzsteigerungen (vgl. Panel „Energieeinsparungen“) kann ein erhöhter Energiebedarf vor allem durch die verstärkte Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien (z.B. Elektrifizierung) sowie dessen Umwandlungsmöglichkeiten (Einsatz von Wasserstoff oder strombasierten Kraft-, Brenn- und Grundstoffen) resultieren. Ebenso können z.B. die fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung in Zukunft einen höheren Energiebedarf bedeuten.

⁹ Anmerkung: Vgl. Panel „Energiepolitische Maßnahmen“.

Windkraft und Solarenergie als tragende Säulen für den zukünftigen Energiemix¹⁰

Windenergie leistet den größten Beitrag der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung. Insgesamt 127 TWh und damit ein Anteil von rund 24,6 % am Strommix^{viii} wurden 2019 von Windkraftanlagen auf dem Land und auf See erzeugt. Der weitere Ausbau der Windenergie wird entscheidend sein für eine erfolgreiche Energiewende. Mit Abstrichen gilt das auch für Bayern. Auch wenn viele Regionen in Bayern nicht als besonders windertragsreich gelten, zeigt die Erfahrung mit bestehenden Anlagen, dass auch hier ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Der Ausbau der Windkraft in Deutschland wird auch zukünftig vor allem in den windreichen Regionen Nord- und Mitteldeutschlands und auf See erfolgen. Mehr Windanlagen auch in Bayern wären aber sowohl für die regionale Wertschöpfung als auch für eine bessere Versorgung in der Fläche vorteilhaft. Der Ausbau der Windkraft in Bayern sollte daher unter Beachtung des Bevölkerungs-, Arten- und Landschaftsschutzes durch flexible Abstandsregeln gefördert werden¹¹.

Solarenergie trug mit rund 9 % (46,5 TWh) zum Strommix bei^{ix}. Auch hier gibt es noch große Potenziale, wie beispielsweise eine großflächige Nutzung von Dächern, Fassaden, Carports etc. - gerade auch im gewerblichen Bereich. Ebenso muss der Ausbau entlang Autobahnen und Schienenwegen, auf ökologisch wertlosen Restflächen sowie (unter Beachtung von Ökologie und Landschaftsschutz) auf landwirtschaftlich minderwertigen Flächen forciert werden und ggf. eine Kombinationslösung ermöglichen.

Im Wärmebereich nimmt die direkte Solarnutzung über Solarthermie mit rund 8,9 TWh (0,6 % des Gesamtwärmeverbrauchs im Jahr 2018)^x eine kleine Rolle ein. Ein Ausbau wäre vor allem im Bereich des Wohnungsbaus möglich, wobei Solarthermie aber hier mit Photovoltaik um geeignete Dachflächen konkurriert. Angesichts steigender Wirkungsgrade von PV-Modulen und mittlerweile nahezu gleicher Kosten pro erzeugter kWh erscheint es daher langfristig sinnvoll, auf Dächern vorrangig den Ausbau von PV-Anlagen zu forcieren und (anderweitig nicht verwendbare) Strom-Überschüsse neben der Stromspeicherung auch in Form von Wärme z.B. für die Warmwasser-Erzeugung zu speichern.

Die Nutzung von Strom aus dem Netz in Strom-Direktheizungen (die 2018 mit ca. 11 TWh immer noch 0,7% des Gesamtwärmebedarfs ausmachte^{xi}) kann dagegen auch langfristig nicht aus Überschüssen von Wind- und PV-Strom gedeckt werden und sollte daher (bis auf Sonderfälle) abgebaut werden.

Eine weit bessere Form der (direkten oder indirekten) Nutzung von Wind- und Solarstrom im Wärmebereich ist der Einsatz elektrischer Wärmepumpen. Hier werden im Mittel aus einer eingesetzten kWh Strom 3-5 kWh Wärme erzeugt. Aus technischen Gründen können Wärmepumpen zur Heizung besonders vorteilhaft in kleineren und wärmetechnisch optimierten Gebäuden eingesetzt werden. Aktuell hat

¹⁰ Anmerkung: Vgl. Grafik 1 im Anhang.

¹¹ Anmerkung: Vgl. Panel „Energiepolitische Maßnahmen“.

Umweltwärme mit 14,7 TWh nur einen Anteil von 1% am Gesamtwärmeverbrauch (2018)^{xii}. In Neubauten (Wohngebäuden) liegt der Anteil aktuell bei ca. 30% aller Heizsysteme^{xiii}. Ziel sollte sein, diesen Anteil in Neubauten und energetisch sanierten Gebäuden (v.a. in Ein- und Zweifamilienhäusern) zu Lasten fossiler Heizungssysteme zu verdoppeln.

Zum Einsatz von Strom aus erneuerbaren Quellen in der Mobilität siehe separaten Abschnitt unten.

Biomasse ist ein Allroundtalent für den Einsatz in Strom, Wärme und Mobilität, wobei die Potenziale aus Umwelt- und Ressourcengründen beschränkt sind

Biomasse zur energetischen Nutzung besteht aus tierischen und pflanzlichen Erzeugnissen, die zur Gewinnung von Heizenergie, Strom und Kraftstoffe genutzt werden können. Da es sich bei Biomasse stets um nachwachsende Rohstoffe handelt, zählt sie zu den erneuerbaren Energien.

Im Jahr 2019 wurden rund 44,4 TWh Strom aus Biomasse erzeugt, das entspricht in etwa 8,6 % an der Nettostromerzeugung^{xiv}. Dafür wurden v.a. Biogas, Biomasse und biogene Abfallstoffe genutzt. Den Spitzenplatz nimmt die Biomasse aber in der Bereitstellung von Wärme ein.

Im Wärmebereich wird die Nutzung von Biomasse bspw. für Pellet- oder Hackschnitzelheizungen oder auch Konzepte mit Biogasanlagen gefördert^{xv}. Mit angeschlossenen Blockheizkraftwerk (BHKW) können Biogasanlagen Wärme und Strom erzeugen und über Nahwärmenetze sogar ganze Quartiere versorgen. Die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan (mit einem Methangehalt von rund 98 %) ermöglicht zudem eine Einspeisung in das Gasnetz.

Auch in der Mobilität kann die Nutzung von Biomasse einen Beitrag zum klimafreundlichen Verkehr leisten. Biokraftstoffe können dabei fossile Kraftstoffe wie Diesel, Benzin oder Erdgas ersetzen. Sie können als Reinform genutzt oder fossilen Kraftstoffen beigemischt werden. Hohe Anteile können aber einen Anpassungsbedarf am Motorsystem von Fahrzeugen erzeugen. Zentral für insbesondere Biokraftstoffe, aber grundsätzlich für die allgemeine Nutzung von Biomasse, ist die Betrachtung unter Aspekten des Flächenverbrauchs, der unerwünschten Anreicherung von Nährstoffen in Ökosystemen (Eutrophierung), des Biodiversitätsverlustes und der sozialen Nachhaltigkeit.

Den größten Anteil an Biomasse in der Mobilität haben aktuell Biodiesel und Bioethanol, die zu rund 70 % aus konventionellen Biokraftstoffquellen (1. Generation) stammen, wie beispielsweise Nahrungs- und Futtermittelpflanzen, und zu 30 % aus fortschrittlicheren Biokraftstoffquellen (2. Generation), meist aus Abfall- und Reststoffen. Im Jahr 2017 kamen nur rund 25 % der Ausgangsstoffe aus Deutschland - der Rest musste importiert werden^{xvi}. Diese Importe (hauptsächlich aus Entwicklungs- und Schwellenländern) sind äußerst kritisch zu sehen, da Produkte wie Palmöl dort häufig unter schwersten Umweltbelastungen (Abholzung von Regenwäldern etc.) erzeugt werden. Bei der Formulierung von Vorschriften

zum Einsatz oder zur Zumischung von Biokraftstoffen muss eine 100% nachhaltige Erzeugung bzw. Herkunft obligatorisch werden. Soweit das nicht möglich ist, können Biokraftstoffe nicht eingesetzt werden. Biomethan, welches in CNG-Fahrzeugen genutzt wird, stammt wiederum zum Großteil aus überschüssigem Stroh sowie anderen landwirtschaftlichen Reststoffen und gilt deshalb als nachhaltiger^{xvii}.

Die Wasserkraft – ein wichtiger Baustein der Energiewende

Die Wasserkraft hatte im Jahr 2019 einen Anteil an der deutschen Nettostromerzeugung von rund 3,8 % (19,23 TWh)^{xviii}. In Bayern nimmt die Wasserkraft aber eine weitaus wichtigere Rolle ein. Ihr Anteil an der Bruttostromerzeugung betrug mit rund 12 TWh insgesamt 16 % an der Bruttostromerzeugung in Bayern^{xix12}.

Die Wasserkraft konnte in den letzten 20 Jahren aufgrund der politischen Restriktionen keine signifikante Steigerung der installierten Leistung realisieren, obwohl nennenswertes Ausbaupotenzial vorhanden ist. In bayerischen Gewässern befinden sich laut LVBW und VBW ca. 57000 Querverbauungen, davon sind ca. 53000 Wehre, Staudämme und Abstürze in Gewässer erster und zweiter Ordnung angesiedelt. Eigentümer dieser Gewässer ist überwiegend der Freistaat Bayern. Tatsächlich konnte diese Ressource im Jahr 2020 nur mit 4248 Kraftwerken^{xx} genutzt werden. Seriöse Schätzungen gehen davon aus, dass von den nicht beanspruchten ca. 51750 Verbauungen^{xxi} zukünftig rund 15000 Verbauungen zur Stromerzeugung herangezogen werden können, sofern der Freistaat Bayern dies zulässt. Dazu besonders geeignet sind die von der TU-München neu entwickelten überströmten Schachtkraftwerke. Da sich Wasserkraftwerke durch eine kaum fluktuierende Erzeugung auszeichnen und damit grundlastfähig sind, gleichzeitig eine hohe Auslastung der installierten Leistung von durchschnittlich 53 % bzw. 4600 Volllaststunden aufweisen, soll zukünftig die jährliche elektrische Arbeit um mindestens 2 TWh (theoretisches zu prüfendes Potential von 20 TWh) in Bayern gesteigert werden. Das Ausbaupotenzial muss unter Aspekten der Nachhaltigkeit geprüft werden.

Wasserkraftwerke tragen erheblich zu einer sicheren Stromversorgung bei, da sie meist mit Synchrongeneratoren direkt an das Stromnetz gekoppelt sind. Sie können daher umfangreiche Systemdienstleistungen anbieten. Beispielsweise sind sie in der Lage, die Netzspannung zu regeln durch lastunabhängige Abgabe von sowohl induktiven als auch kapazitiven Blindstrom und diesen zu kompensieren, sie tragen in großem Umfang zu einem hohen Trägheitsmoment der Soll-Netzfrequenz bei und sie sind schwarzstartfähig. Aufgrund der Grundlastfähigkeit benötigt die Wasserkraft keine Stromspeicher, sie kann daher ihr Produkt Strom günstig anbieten.

¹² Anmerkung: Vgl. Tabelle 3 im Anhang.

Netze und Speicher –

Grundvoraussetzung für ein leistungsfähiges Energiesystem

Die Optimierung, Verstärkung und auch der Ausbau von Übertragungs- und Verteilnetzstrukturen ist für die Umsetzung der Energiewende essenziell. Auch wenn grundsätzlich ein dezentralerer Ansatz mit dem Umbau des Energiesystems einhergeht, wird es weiterhin hohe Infrastrukturkapazitäten benötigen, um Energie dort hinzubringen, wo sie gebraucht wird. Die Integration von Erneuerbaren-Energien-Anlagen, die vornehmlich in die Verteilnetze erfolgt (rund 97 %), ist dabei maßgebliche Herausforderung, die vor allem einer intelligenten Steuerung bedarf. Zur Erhaltung eines wirtschaftlichen Netzbetriebes muss eine umfängliche Netzreform in den nächsten Jahren vorgenommen werden.

Zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit muss erneuerbare Energie verstärkt auch mittel- und langfristig speicherbar sein. Mittlerweile gibt es dazu eine Vielfalt an verschiedenen Speichertechnologien. Mechanische, elektrochemische, chemische, elektrische und thermische Speicher bieten zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten für die verschiedene Bedarfe. Für einen wirtschaftlichen Betrieb müssen aber noch die entsprechenden Rahmenbedingungen geschaffen und auch in einigen Bereichen die Nutzung in Forschungs- und Entwicklungsprojekten weiterhin erprobt werden.

Mit der schrittweisen Substitution von thermischen Kraftwerken durch regenerative Energieträger, verbindet sich eine tiefgreifende Veränderung bei der Erzeugung von elektrischer Energie und deren Übertragung durch Stromnetze, welche für neue Randbedingungen und Anforderungen ausgelegt werden müssen. Veränderungen sind z.B. längere Übertragungswege der elektrischen Energie oder neue Anforderungen an die Spannungsstabilisierung (Blindleistungsbedarf). Der beschlossene Ausstieg aus Kernkraft- und Kohlekraftwerken schwächt klassische Methoden der Netzstabilisierung (z.B. Momentanreserve aus Rotationsenergie und Primärregelleistung aus Kohlekraftwerken). Perspektivisch ist deshalb zu klären, ob ein stabiler Betrieb des deutschen Stromnetzes ohne thermische Kraftwerke möglich ist oder ob für die Erfüllung der störfallrelevanten Auslegungskriterien des Stromnetzes ein Mindestanteil an thermischen Kraftwerken erforderlich ist.¹³

Direkte Nutzung erneuerbarer Energien im Verkehr - Elektromobilität

Die Elektromobilität gilt als eine der vielversprechendsten Technologien zur Substitution fossiler Kraftstoffe im Verkehrsbereich.

Die Elektrifizierung im Schienenbereich ist bereits durch die Nutzung von Oberleitung weit vorangeschritten. Bis 2025 sollen insgesamt 70 % des gesamten Schienenverkehrs elektrifiziert werden, wobei

¹³ Anmerkung: Zur Netzstabilität werden im AKE-Panel „Energiepolitische Maßnahmen“, Thesen zu diesen Themenbereichen diskutiert und fließen in die Panel-Ergebnisse ein.

der Fernverkehr bereits heute nahezu vollständig elektrifiziert ist^{xxii}. Oberleitungen könnten aber abseits der Schiene auch für die Straßennutzung sinnvoll sein. Für den Schwerlastverkehr gibt es bereits Forschungs- und Entwicklungsprojekte die Konzepte erproben. Ein Oberleitungssystem mit Batterie und Hybridantrieben ist aber vor allem im größeren, z.B. im europäischen Kontext zu betrachten. Mehrere Studien kommen zu dem Ergebnis, dass – trotz der hohen Investitionskosten für die Infrastruktur – die CO₂-Vermeidungskosten solcher Systeme geringer wären als bei anderen Antriebstechnologien^{xxiii}. Möglichkeiten in diesen Bereich gilt es zu prüfen.

Ein großes Potential haben batterieelektrische Antriebe, die aktuell vor allem in Pkw genutzt werden. Rund 317.000 Pkw mit batterieelektrischem Antrieb (BEV) und Plug-in-Hybriden (PHEV) sind auf deutschen Straßen unterwegs (Stand Juni 2020 / KBA). Die steigenden Zulassungszahlen sowie die hohen Investitionen der Automobilhersteller und Zulieferer in die Elektromobilität lassen auf eine positive Trendentwicklung schließen. Ziel der Bundesregierung ist bis 2030 insgesamt 7 - 10 Mio. Elektroautos auf deutsche Straßen zu bringen¹⁴. Im Bereich der PHEV werden zudem Möglichkeiten gesucht, den Nutzungsgrad des batterieelektrischen Anteils zu erhöhen, um auch hier eine bessere Klimabilanz zu erreichen. Auch im Schwerlastverkehr können batterieelektrische Antriebe eine Alternative zu konventionellen werden, sofern eine bedarfsgerechte Ladeinfrastruktur vorhanden ist oder ggf. auch Systeme zum Batterietausch etabliert werden. Für den ÖPNV oder auch weitere Fahrzeuge des kommunalen Fuhrparks, sind batterieelektrische Antriebe besonders geeignet. Sie könnten dabei viele positive Effekte insbesondere in Großstädten erwirken. Hierfür bedarf es allerdings noch ein größeres Angebot an Fahrzeugmodellen zu erschwinglichen Kosten für Kommunen.

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur ist dabei ein zentrales Kriterium für einen Markthochlauf. Bereits heute schon gibt es rund 28.000 öffentliche Ladepunkte in Deutschland (Stand September / BDEW) und die Anzahl wird in den nächsten Monaten und Jahren deutlich weiter steigen. Ebenso ist der bedarfsgerechte Aufbau einer Schnellladeinfrastruktur an Fernstraßen notwendig. Wichtig ist hierbei die Ladeinfrastruktur kundenfreundlich zu gestalten z.B. bei Registrierungs- und Bezahlvorgängen. Im Bereich der Pkw liegt der Fokus aber auf dem Ausbau der privaten Ladeinfrastruktur, da rund 85 % der Ladevorgänge zu Hause oder beim Arbeitgeber erfolgen, dabei braucht es gezielte Förderungen und den Abbau rechtlicher Hemmnisse^{xxiv}.

Ladeinfrastruktur kann durch Netzintegration zudem als zusätzlicher Teil der Sektorkopplung betrachtet werden. Elektrofahrzeuge können bereits heute schon als mobiler Stromspeicher genutzt werden und mittels bidirektionalen Ladens Energie aufnehmen oder abgeben. Vehicle-to-Grid-Funktionen (V2G) bedürfen aber noch eines regulativen Rahmens, um ggf. neue Service- und Geschäftsmodelle zur Verfügung stellen zu können. Ebenfalls schreitet die Entwicklung des Vehicle-to-Home-Bereiches (V2H) weiter voran, welcher die Gebäudeeffizienz weiter erhöhen kann. Neben der regulativen Rahmensetzung

¹⁴ Anmerkung: Vgl. Panel „Innovationen“.

bedarf es für die Netzintegration von Fahrzeugen aber Anpassungen und Weiterentwicklungen auf Seiten der Hersteller.

Schlüsselement Wasserstoff^{xxv}

Wasserstoff (H₂) gilt aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten als ein Schlüsselement der Energiewende. Er kann als (langfristiger) Speicher und als Energiequelle eingesetzt werden. Ein großes Potential kann H₂ dabei für die Substitution von Öl oder Gas aufweisen, insbesondere in Bereichen, in denen die direkte Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien nicht möglich ist. Bisherige Studien^{xxvi} prognostizieren jeweils sehr unterschiedliche Bedarfe für H₂ in den nächsten Jahrzehnten, jedoch führen alle an, dass die Treibhausgasneutralität 2050 nur mit einem großflächigen Einsatz von H₂ realisiert werden kann. Die heutigen Märkte für H₂ in Deutschland finden sich vor allem im Bereich von Raffinerien und der Industrie, wie beispielsweise in der Stahlindustrie, der Chemischen Industrie oder der Glasindustrie. Ebenso ist ein Einsatz im Mobilitätsbereich, z.B. im Schwerlast- oder Zugverkehr denkbar.

Die Deckung des H₂-Bedarfs in Deutschland wird aktuell fast ausschließlich über sog. **grauen Wasserstoff** sichergestellt, der aus fossilen Brennstoffen gewonnen wird. Dabei wird Erdgas mittels Dampferformierung in H₂ und CO₂ umgewandelt. Bei der Produktion von einer Tonne grauen Wasserstoffs entstehen rund 10 t CO₂.

Unter sog. **blauen Wasserstoff** wird grauer Wasserstoff mit einer Abschneidung und Speicherung des freigesetzten CO₂ verstanden. Diese erfolgt über Carbon Capture and Storage - Technologien (CCS)¹⁵, die allerdings noch in verschiedenen Forschungs- und Pilotprojekten erprobt werden und deshalb noch keine abschließende Technikfolgenabschätzung vorliegt. Bilanziell betrachtet gilt blauer Wasserstoff ebenfalls als CO₂-neutral, sofern gewährleistet werden kann, dass das CO₂ dauerhaft gespeichert wird.

Mit einer thermischen Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) kann sog. **türkiser Wasserstoff** hergestellt werden. Anstatt CO₂ entsteht dabei ein fester Kohlenstoff, der wiederum weiterverwendet werden kann. Voraussetzung für die CO₂-Neutralität ist allerdings, dass die Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors aus erneuerbaren Energien erfolgt und der entstandene Kohlenstoff dauerhaft gebunden wird. Noch ist türkiser H₂ ein Thema intensiver Forschungsbemühungen, dem allerdings Potential zugesprochen wird.

Die vielversprechendste und aktuell politisch forcierte Herstellung von sog. **grünem Wasserstoff** erfolgt durch Elektrolyse unter Einsatz erneuerbarer Energien. Das grundlegende Verfahren ist bereits altbekannt und bewährt, allerdings in Deutschland, aufgrund des hohen Bedarfs von erneuerbaren Energien (fehlendes Flächenpotential), nicht großflächig skalierbar und damit weniger effizient und wirtschaftlich.

¹⁵ Anmerkung: Vgl. Panel „Innovationen“.

Die Wirtschaftlichkeit von Elektrolyseuren ist maßgeblich von Stromeinkaufspreis und Stromnebenkosten, Anlagegröße und Automatisierungsgrad der Herstellung (bisherige Elektrolyseure entstehen im Manufakturbetrieb) sowie dem Auslastungsgrad (Anzahl der Betriebsstunden) abhängig. Ein ausschließlicher Betrieb mit sog. Überschussstrom ist aktuell noch nicht rentabel. Elektrolyseure sollten im Optimalfall dort gebaut werden, wo bereits größere Anlagen erneuerbarer Energien vorhanden sind. Attraktive Standorte fallen in den seltensten Fällen mit Standorten, die einen hohen Bedarf aufweisen (v.a. Industrie- und Ballungsgebiete), zusammen. Dementsprechend wird eine Versorgungs- und Infrastruktur für grünen H₂ benötigt. Bereits heute ist es möglich dem Erdgasnetz einen Anteil an Wasserstoff beizumischen (ca. 10 % - wobei hier technische Anschlüsse zu beachten sind, beispielsweise CNG-Tankstellen), ein höherer Bedarf setzt allerdings technische Anpassungen sowie ggf. eine eigene Leitungsinfrastruktur voraus. Eine weitere Möglichkeit wäre der Transport via Trailer (für größere Mengen z.B. verdichtet im flüssigen Zustand über liquid organic hydrogen carries (LOHC)). Welche Transportlösung, ob via Trailer oder leitungsgebunden, die kostengünstigste ist, wird sich aufgrund der zukünftigen H₂-Bedarfe und der regionalen Verteilung entscheiden.^{xxvii}

In Anbetracht der Kosten und Verluste bei Herstellung, Verdichtung, Transport und Umwandlung ist anzunehmen, dass grüner Wasserstoff – jedenfalls solange er knapp und teuer ist – vorrangig entsprechend den folgenden Prioritäten eingesetzt wird:

1. Stoffliche Verwertung in der chemischen Industrie und zur Herstellung von Eisen/Stahl und anderen Metallen (Substitution von Kohle, Öl und Erdgas).
2. Herstellung von synthetischen Kraftstoffen für Bereiche (insbesondere Flugverkehr), wo Strom oder andere regenerative Antriebsarten nicht einsetzbar sind (Substitution von Öl, s.u.).
3. Brennstoffzellen in der Mobilität, insbesondere im Bahn- und Schwerlastverkehr, soweit Strom direkt oder Batterien nicht einsetzbar sind (Substitution von Öl).
4. Brennstoffzellen zur Erzeugung von Spitzenlast-Strom, zur Deckung von Residuallast und zur dezentralen Erzeugung von Strom (Substitution von Erdgas).
5. Erzeugung von Wärme (Substitution von Öl und Erdgas): Niedrigste Priorität wg. zahlreicher besserer Alternativen.

Aktuell wird angenommen rund 10 - 15 Prozent des H₂-Bedarfs 2030 in Deutschland durch eigene Produktion decken zu können. Das heißt auch, dass wir bereits heute resiliente Strukturen für den H₂-Import aufbauen müssen. Deshalb gilt es internationale und europäische Partnerschaften sowie Kooperationsprojekte zu forcieren. Deutschlands und vor allem auch Bayerns Innovationsfähigkeit können aber in der Technologieentwicklung große Potentiale entfalten. Bisher gilt die Wasserstofftechnologie in Deutschland als weltweit führend, weswegen es umso wichtiger ist die Forschungs- und Entwicklungsförderung weiter voranzutreiben. Um dies weiter adäquat umsetzen zu können und H₂-

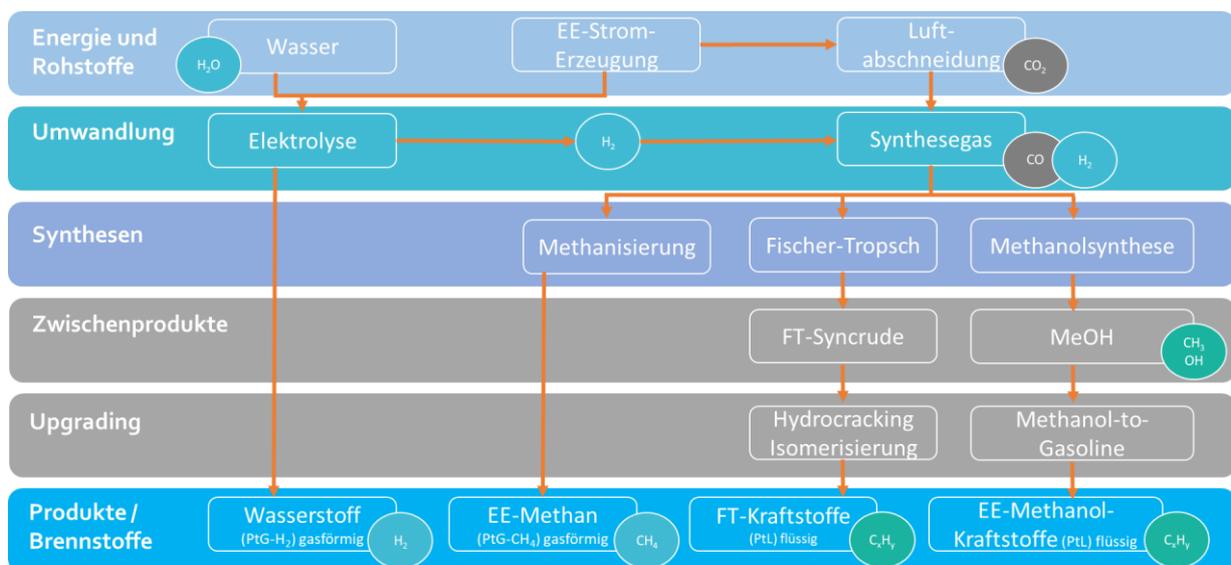
Technologien für internationale Märkte attraktiv zu machen, ist der Aufbau eines H₂-Heimatmarktes in Deutschland und der EU sinnvoll^{xxviii}. Dafür müssen optimale regulatorische Rahmenbedingungen gesetzt werden, um faire Entwicklungs- und Wettbewerbschancen zu ermöglichen.

Strombasierte Kraft-, Brenn- und Grundstoffe

Auf Wasserstoff aufbauend, können auch strombasierte Kraft-, Brenn- und Grundstoffe einen Beitrag zur Substitution von Gas und Öl vor allem in den Bereichen Wärme, Mobilität und nicht energetische Anwendungen in der Industrie leisten. Zahlreiche Szenarien in Studien weisen einen Bedarf ab 2030 auf, wenn die Klimaneutralität bis 2050 erreicht werden soll. Dies liegt insbesondere daran, dass das Potenzial für nachhaltig erzeugter Biomasse die prognostizierten Bedarfe nicht decken kann. Einen Beitrag zur CO₂-Reduktion können die synthetischen Stoffe aber nur aufweisen, wenn der Strom für die Umwandlung aus Erneuerbaren Energien stammt und ein ggf. benötigter Kohlenstoff klimaneutral bereitgestellt werden kann.

Mit jeder Umwandlung von Energie gehen teilweise hohe Verlust einher, weswegen strombasierte Kraft-, Brenn- und Grundstoffe nur in den Fällen eingesetzt werden sollten, in denen eine direkte Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien oder Wasserstoff nicht möglich oder sinnvoll ist.

Mit der Technologie Power-to-X wird eine Reihe von Verfahren beschrieben, die elektrische Energie in strombasierte Kraft-, Brenn- und Grundstoffe umwandeln. Dabei kann beispielsweise Wasserstoff (siehe Abschnitt oben), EE-Methan, FT-Kraftstoffe oder auch EE-Methanol produziert werden.



Bildquelle Prognos AG^{xxix} - angepasste eigene Darstellung

Erdgas – Brückentechnologie für ein klimaneutrales Energiesystem¹⁶

Auf dem Weg in ein klimaneutrales Energiesystem kann Erdgas nur als Übergangslösung agieren. Ziel muss es sein, alle fossilen Energieträger schrittweise zu substituieren. Erdgas ist heute allerdings ein wichtiger Bestandteil im Energiemix und gilt als weniger klimaschädlich als andere fossile Energieträger. Moderne GuD-Kraftwerke haben einen hohen Wirkungsgrad. Aufgrund des aktuellen Marktdesigns ist der wirtschaftliche Einsatz solcher Kraftwerke aber kaum möglich. Ebenso sind weitere Gaskraftwerke in Bayern geplant, die allerdings ausschließlich als netztechnische Betriebsmittel genutzt werden sollen und nicht am Markt teilnehmen dürfen. Zur Absicherung der Versorgungssicherheit bei Abschaltung der Kohle- und Kernkraftwerke in Deutschland, müssen Gaskraftwerke in ein anderes Design überführt werden – dafür notwendig ist eine Reform des Energy-Only-Marktes durch bspw. marktwirtschaftliche Kapazitätsoptionen. Zudem sollten Möglichkeiten geprüft werden, wie Anreize geschaffen werden können, um Erdgas mit Biogas (o.a. synthetischen Brennstoffen) schrittweise zu substituieren.

Für die Ausregelung der Photovoltaik können auch hocheffiziente GuD-Kraftwerke eingesetzt werden, welche am späten Nachmittag schrittweise die nachlassende elektrische Leistung der Photovoltaik ersetzen, ab Sonnenuntergang ihren Beitrag zur Abdeckung des Grundlastbedarfs beitragen und nach Sonnenaufgang schrittweise an die Photovoltaik übergeben. Auf diese Weise lässt sich auch die effiziente Bereitstellung von elektrischer Energie in den sonnenschwächeren Monaten sicherstellen.

Herzlichen Dank an alle Autoren und Mitwirkenden

Klaus Ecker, Dr. Clemens Grambow, Bertram Heisters-Auer, Vik Kadavanich, Helmut Kraus, Andreas Leichtfuß, Ernst-Christian Lehmann, Prof. Dr. Bernhard Liesenkötter, Simone Neumann, Georg Niedermeier, Tim Vogel u.v.m.

¹⁶ Anmerkung: die Nutzung von Erdgas ist kontrovers unter den Mitgliedern des Panels diskutiert worden. Einige Teilnehmer betrachten Erdgas als wichtigen Baustein zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit. Andere Teilnehmer äußern sich kritisch und weisen darauf hin, dass Klimaneutralität nur erreicht werden kann, wenn alle fossilen Energien aus dem System genommen werden. Ein Konsens wurde darin erzielt, dass Erdgas der klimafreundlichste unter den fossilen Energieträgern darstellt und deshalb als „Brückentechnologie“ anerkannt wird, mit dem Ziel einer Substitution.

Anhang und Quellenhinweise

Tabelle 1: AGEB AG Energiebilanzen e.V. (2020): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2019. [LINK](#)

Tabelle 1



Primärenergieverbrauch in Deutschland 2018 und 2019 ¹⁾

Energieträger	2018	2019	2018	2019	Veränderungen 2019 geg. 2018			Anteile in %	
	Petajoule (PJ)	Petajoule (PJ)	Mio. t SKE	Mio. t SKE	PJ	Mio. t SKE	%	2018	2019
Mineralöl	4.443	4.530	151,6	154,6	87	3,0	2,0	33,9	35,3
Erdgas	3.090	3.191	105,4	108,9	101	3,4	3,3	23,6	24,9
Steinkohle	1.427	1.134	48,7	38,7	-293	-10,0	-20,5	10,9	8,8
Braunkohle	1.464	1.167	50,0	39,8	-297	-10,1	-20,3	11,2	9,1
Kernenergie	829	820	28,3	28,0	-9	-0,3	-1,1	6,3	6,4
Erneuerbare Energien	1.802	1.896	61,5	64,7	94	3,2	5,2	13,8	14,8
Stromaustauschsaldo	-175	-118	-6,0	-4,0	58	2,0	-	-1,3	-0,9
Sonstige	222	212	7,6	7,2	-10	-0,3	-4,5	1,7	1,7
Insgesamt	13.102	12.832	447,0	437,8	-269	-9,2	-2,1	100,0	100,0

1) Alle Angaben sind vorläufig, Abweichungen in den Summen durch Rundungen

Quellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.; AGEE-Stat

Tabelle 2: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (2020): Energiedaten. Bayern - Schätzbilanz. [LINK](#)

Primärenergieverbrauch	2017		2019*		Veränderung*	
	PJ	%	PJ	%	PJ	%
Steinkohlen	47	2,4	36	1,9	-12	-24,9
Braunkohlen	12	0,6	11	0,6	-0	-2,8
Mineralöl / Mineralölprodukte	742	38,1	739	38,8	-2	-0,3
Erdgas	408	20,9	412	21,6	+4	+1,0
Kernenergie	340	17,5	245	12,8	-95	-28,0
erneuerbare Energieträger	360	18,5	384	20,1	+24	+6,7
Stromaustauschsaldo	-2	-0,1	38	2,0	+40	x
Sonstige	40	2,1	40	2,1	-0	-0,9
Insgesamt	1.946	100,0	1.904	100,0	-42	-2,2

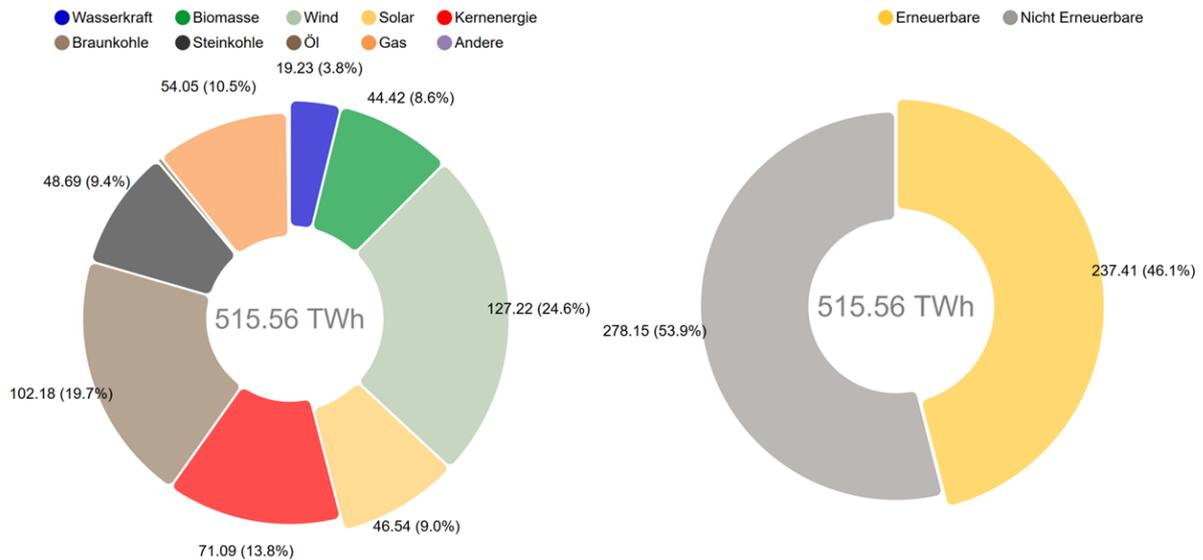
AKE-PANELS

Ergebnisse Panel „Substitution“ || Leitung: Simone Neumann

Tabelle 3: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (2020): Energiedaten. Bayern - Schätzbilanz. [LINK](#)

Bruttostromerzeugung	2018		2019*		Veränderung*	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%
erneuerbare Energieträger	36,6	49,6	38,5	51,2	+1,8	+4,9
Wasserkraft	10,7	14,4	12,0	16,0	+1,3	+12,3
Photovoltaik	11,8	15,9	12,0	15,9	+0,2	+1,7
Biomasse	9,2	12,4	9,2	12,2	+0,0	0,2
Wind	4,6	6,2	4,9	6,5	+0,3	+5,7
Sonstige	0,4	0,6	0,5	0,6	+0,0	3,6
konventionelle Energieträger	37,3	50,4	36,6	48,8	-0,7	-1,9
Kernenergie	22,5	30,4	22,4	29,9	-0,1	-0,3
Erdgas	10,4	14,1	10,1	13,5	-0,4	-3,4
Steinkohlen	3,0	4,0	2,7	3,6	-0,3	-9,7
Sonstige	1,4	1,9	1,4	1,9	0,0	13,6
Insgesamt	74,0	100,0	75,1	100,0	+1,1	+1,5

Grafik 1: Fraunhofer ISE (2020): Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland 2019. [LINK](#)



- ⁱ AG Energiebilanzen e.V. (2020): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2019. [LINK](#)
- ⁱⁱ Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (2019): Energiedaten Bayern - vorläufige Werte. [LINK](#)
- ⁱⁱⁱ Vgl. § 1 Abs. (2) Satz 1 Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017). [LINK](#) || Bundesregierung (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. [LINK](#)
- ^{iv} Vgl. Art. 25 Abs. (1) Satz 1 Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RED II). [LINK](#)
- ^v United Nations (2015): Paris Agreement. [LINK](#)
- ^{vi} Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2016): Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, S. 33. [LINK](#)
- ^{vii} CSU (2019): Klima schützen, Konjunktur stützen. Die Klimastrategie der CSU. [LINK](#)
- ^{viii} Fraunhofer ISE (2020): Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland 2019. [LINK](#)
- ^{ix} Ebenda.
- ^x BDEW (2019): Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland. Basisdaten und Einflussfaktoren. [LINK](#)
- ^{xi} Ebenda.
- ^{xii} Ebenda.
- ^{xiii} Ebenda.
- ^{xiv} Fraunhofer ISE (2020): Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland 2019. [LINK](#)
- ^{xv} Vgl. § 14 Abs. (1) Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz- EEWärmeG). [LINK](#)
- ^{xvi} Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2019): Zwischenbericht 03/2019. Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor. Arbeitsgruppe 1 - Klimaschutz im Verkehr. [LINK](#)
- ^{xvii} DVGW (2020): Kräftiger Anstieg des Biomethan-Anteils bei CNG-Kraftstoff. Klimaschutzend und nachhaltig. [LINK](#)
- ^{xviii} Fraunhofer ISE (2020): Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland 2019. [LINK](#)
- ^{xix} Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (2019): Energiedaten Bayern - vorläufige Werte. [LINK](#)
- ^{xx} Bayerisches Landesamt für Umwelt: Wasserkraft in Bayern. [LINK](#)
- ^{xxi} Bayerisches Landesamt für Umwelt: Durchgängigkeit an Querbauwerken und Fischaufstiegsanlagen. [LINK](#)
- ^{xxii} Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2018): Bundesminister Scheuer: Deutschlandtakt macht Schienenverkehr pünktlicher, schneller und verlässlicher. [LINK](#)
- ^{xxiii} Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2020): 2. Kurzbericht der AG 2. Einsatzmöglichkeiten unter realen Rahmenbedingungen. Arbeitsgruppe 2 - Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität. [LINK](#)
- ^{xxiv} Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2019): Sofortpaket Ladeinfrastruktur 2019. [LINK](#)
- ^{xxv} Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2020): Eine kleine Wasserstoff-Farbenlehre. [LINK](#)
- ^{xxvi} Vgl. z.B.: Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie NOW (2018): Studie IndWEde. Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme | Dena (2018): dena-Leitstudie – Integrierte Energiewende. | BDI (2018): Klimapfade für Deutschland. Studie im Auftrag des BDI durchgeführt von BCG und Prognos.
- ^{xxvii} Nationale Plattform Zukunft der Mobilität NPM (2019): Roadmap PtX, S. 15 ff.
- ^{xxviii} Bundesregierung (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. [LINK](#) | Bayerische Staatsregierung (2020): Bayerische Wasserstoffstrategie. [LINK](#)
- ^{xxix} Prognos AG (2020): Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger. Endbericht zum Projekt „Transformationspfade und regulatorischer Rahmen für synthetische Brennstoffe“. Autoren: Sven Kreidelmeyer, Hans Dambeck, Dr. Almut Kirchner, Marco Wünsch.